บทที่ 3

การวางแผนทดลองและวิจัย

การทดลองและวิจัยนี้ กระทำที่ห้องทดลองปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรม ฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 <u>แผนการวิจัย</u> การทดลองทั้งหมดมีอยู่ 9 ครั้ง ดังรายละเอียดที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 ตัวแปรอิสระและระดับที่ทำการศึกษามีดังนี้

อัตรากรองเฉลี่ย 5, 7.5, 10 เมตร/ชั่วโมง (2, 3 และ 4 แกลลอน/ตร.ฟุต – นาที)

ความขุ่นในน้ำดิบ 20, 40 และ 60 NTU

ปริมาณสารส้ม 5, 10 และ 15 มก/ลิตร

ส่วนตัวแปรที่วัดได้แก่ความขุ่นของน้ำกรองแล้ว, เฮดที่สูญเสียทั้งหมด (total headloss) และอัตรากรองที่แท้จริงของเครื่องกรองน้ำแต่ละตัว ในการทดลองทุกครั้ง ได้ทำการชักตัวอย่างและวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทุกระยะ $\frac{1}{2}$ ชม. (ดูตารางที่ 3.2) ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถหาบรรดุติกรรมต่าง ๆ ของเครื่องกรองทุกตัวตลอดเวลาที่ทำการกรอง เฮดที่สูญเสียคำนวณได้จากผลต่างระหว่างระดับน้ำในถังกรอง และระดับน้ำในทางน้ำออก (ถังเก็บน้ำใส) ระดับน้ำของถังเก็บน้ำใสอยู่สูงกว่าผิวหน้าของชั้นทรายเสมอ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มีการแห้งของชั้นทราย โดยไม่เจตนาและเพื่อป้องกัน Negative Head loss

3.2 <u>อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัยทดลอง</u>

ภาพที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบกรองน้ำที่ใช้ในการวิจัยนี้ การทดลองกรองน้ำเริ่มด้วย การเตรียมน้ำดิบที่มีความขุ่นต่าง ๆ ตามต้องการไว้ในถังเก็บน้ำดิบ จากนั้นจึงใช้เครื่องสูบแบบหอยโข่งสูบน้ำไปตามเส้นท่อและผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำชนิด

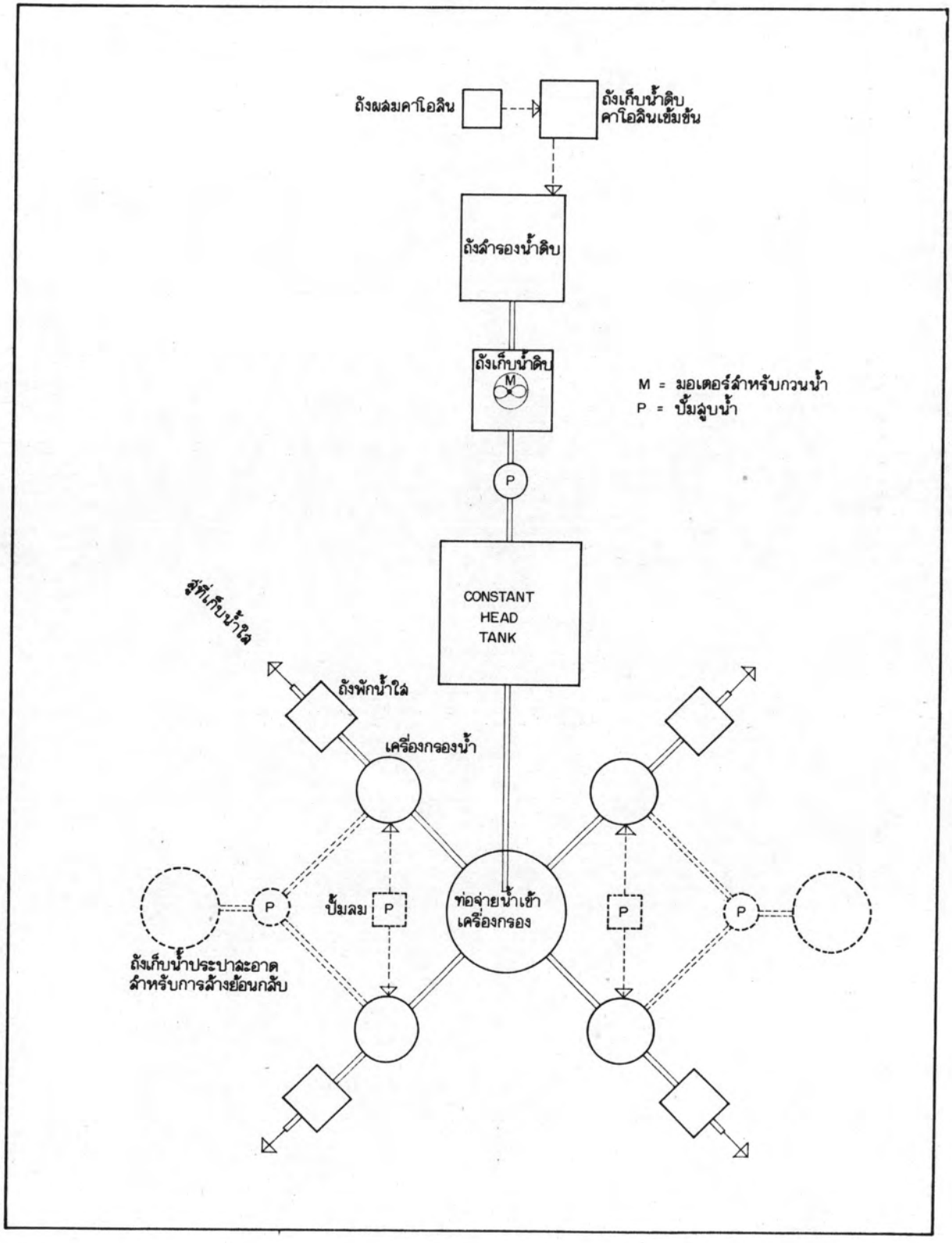
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแผนการวิจัย

การทดลองที่	อัตรากรองเฉลี่ย		ความขุ่นในน้ำดิบ	การเติมสารส้มหรือโคแอกกูแลนต์	ตัวแปรตามที่วัดทุก $\frac{1}{2}$ ชม. ของเครื่องกรองแต่ละตัว
	ม/ชม.	ลิตร/นาที *	NTU.	(มก/ลิตร)	
1	5	0.65	20	5	1. ความขุ่น
2	5	0.65	40	10	2. Total headloss
3	5	0.65	60	15	3. ระดับน้ำ
4	7.5	0.97	20	5	4. อัตรากรองที่แท้จริง
5	7.5	0.97	40	10	
6	7.5	0.97	60	15	
7	10	1.3	20	5	
8	10	1.3	40	10	
9	10	1.3	60	15	

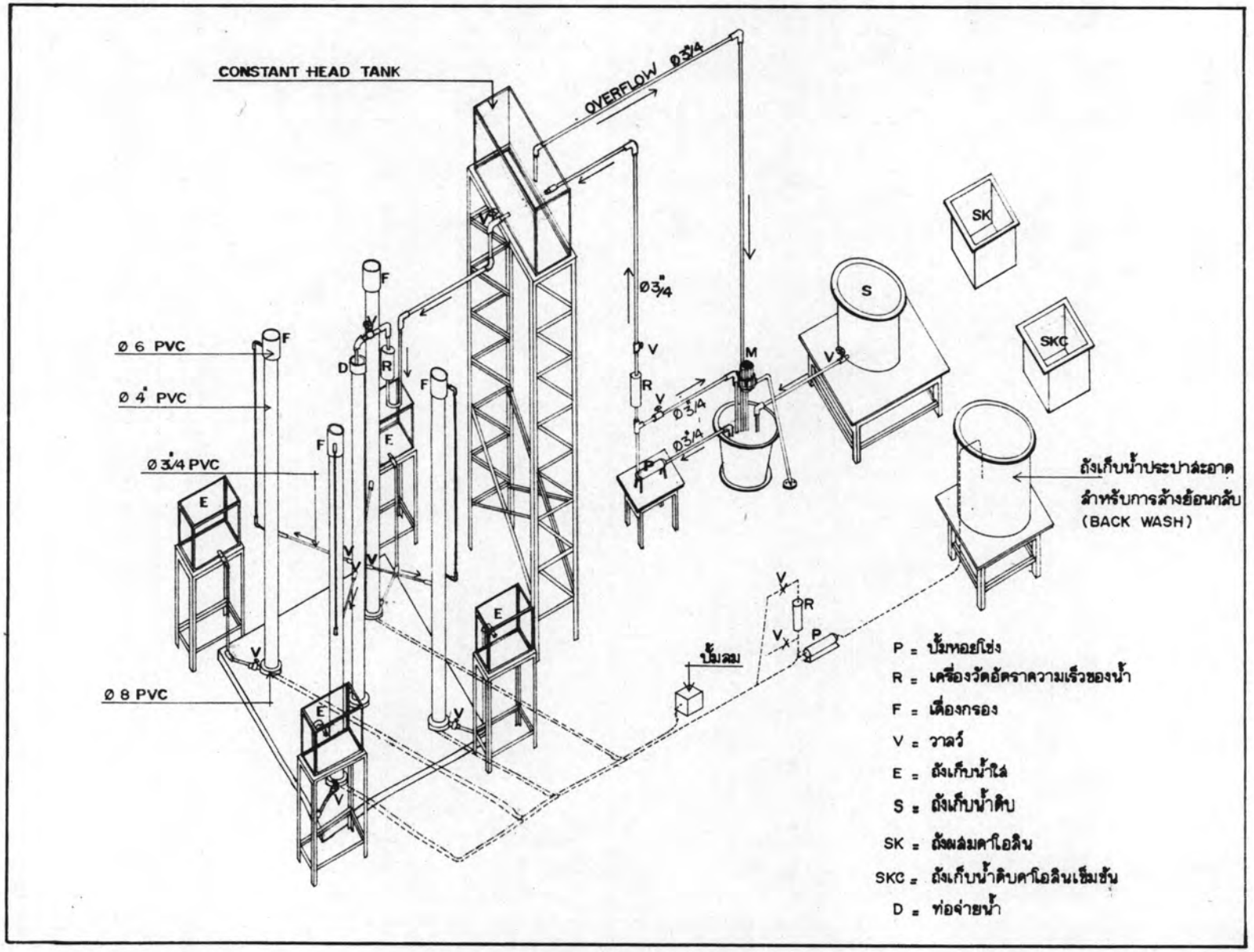
* อัตรากรองน้ำของเครื่องกรองแต่ละตัว

ตารางที่ 3.2 ความถี่ในการชักและวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่วัด	น้ำดิบ	ถังกรองทั้ง 4 ตัว	ทางน้ำออก (ถังเก็บน้ำใส)
ระดับน้ำ	–	a	a
ความขุ่น	a	–	a
อัตรากรอง	–	a	–
a = วิเคราะห์ทุก $\frac{1}{2}$ ชม.			



ภาพที่ 3.1 SCHEMATIC DIAGRAM OF DECLINING - RATE FILTER SYSTEM



ภาพที่ 3.2 PERSPECTIVE DIAGRAM OF DECLINING - RATE FILTER SYSTEM

ใช้ลูกลอยเป็นครรชนี (Rotameter) ไปยังถังพักน้ำที่มีเฮดคงที่ (Constant Head Tank) ขนาด 35 ลิตร จากถังพักน้ำนี้ น้ำจะไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำชนิดใช้ลูกลอยเป็นครรชนี (Rotameter) ไปยังท่อจ่ายน้ำ ซึ่งสามารถจ่ายน้ำให้กับเครื่องกรอง (Filters) ได้พร้อมกัน 4 เครื่อง ซึ่งต่อกันอย่างขนาน (ดูภาพที่ 3.2) เมื่อน้ำเข้าเครื่องกรองแล้ว ก็จะไหลผ่านชั้นทรายและชั้นกรวดออกมายังถังเก็บน้ำสะอาด ซึ่งน้ำจากถังนี้จะทำการวัดค่าความขุ่นตามเวลาที่กำหนดไว้ และวัดอัตราการกรองที่แท้จริงของแต่ละเครื่องกรอง

ภาพที่ 3.3 การติดตั้งระบบกรองน้ำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18042776

1) ถังพลาสติคผสมคาโอลิน (Kaolin mixing plastic tank) เป็นถังซึ่งสารคาโอลินเบา (Kaolin light) ผสมกับน้ำประปามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้างบน 0.44 และข้างล่าง 0.35 ม. สูง 0.56 ม. มีปริมาตร 60 ลิตร จำนวน 1 ถัง

2) ถังพลาสติคเก็บน้ำคาโอลินเข้มข้น (Concentration Kaolin water) เป็นถังซึ่งเก็บน้ำคาโอลินเข้มข้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้างบน 0.44 และข้างล่าง 0.35 ม.สูง 0.56 ม. มีปริมาตร 60 ลิตร จำนวน 1 ถัง

3) ถังเหล็กสแตนเลส (Stainless steel tank) เป็นถังผสมน้ำประปากับน้ำคาโอลินเข้มข้นให้เจือจาง โดยมีความขุ่นตามที่ต้องการ (น้ำดิบ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 ม. สูง 0.70 ม. มีปริมาตร 350 ลิตร จำนวน 1 ถัง (สำหรับสำรองน้ำดิบ)

4) ถังพลาสติคผสมสารเคมี (Rapid mixing plaslictank) เป็นถังซึ่งรับน้ำจากถังเก็บน้ำดิบมาผสมกับผงสารส้ม ($Al_2 (So_4)_3.16 H_2o$ Aluminiumsulfat Ph.Eur.) ตามขนาดของความขุ่นของน้ำดิบและทำให้ผสมกันโดยใช้เครื่องกวน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้างบน 0.72 ม. ข้างล่าง 0.56 ม. สูง 0.72 ม. มีปริมาตรบรรจุน้ำได้ 200 ลิตร

5) ถังพลาสติคใสพักน้ำที่มีเฮดคงที่ (Constant head tank) สำหรับพักน้ำไว้โดยทำให้น้ำมีเฮดคงที่ (Constant head water) ก่อนที่จะไหลเข้าท่อจ่ายน้ำ (distributed line) มีขนาด 0.25 + 0.30 + 0.50 ม. ปริมาตรน้ำ 37 ลิตร

6) เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง (Centrifugal pump) 2 เครื่อง

เครื่องที่ 1 สูบน้ำดิบจากถังพลาสติคผสมสารเคมีไปยังถังพักน้ำที่มีเฮดคงที่ของ Universal electric Co.Model AB 1S 073 N มีขนาด 1/15 แรงม้า 2500/3000 รอบต่อนาที

เครื่องที่ 2 สูบน้ำสะอาดใสจากถังพลาสติคไปยังทางท่อน้ำออกของเครื่องกรอง เพื่อทำการล้างย้อนกลับของ James Beresford & Son Ltd. Bermingham England Type PV 32 มีขนาด 1/8 แรงม้า 4,000 รอบต่อนาที

7) ท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องกรอง (Distributive line) เป็นท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ϕ4" ยาว 3.46 เมตร ปริมาตรบรรจุน้ำขนาด ϕ4" + 2.15 ม. (ภาพที่ 3.4)

8) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำชนิดใช้ลูกลอยเป็นดรรชนี (Flow meter) จำนวน 3 ตัว (ภาพที่ 3.2)

ตัวที่ 1 สำหรับวัดปริมาณการไหลของน้ำดิบจากเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากถังพลาสติคผสมสารเคมีไปยังถังพักน้ำที่มีเฮดคงที่ โดยมีวาล์ว (valve) เป็นตัวควบคุมอัตราการไหล

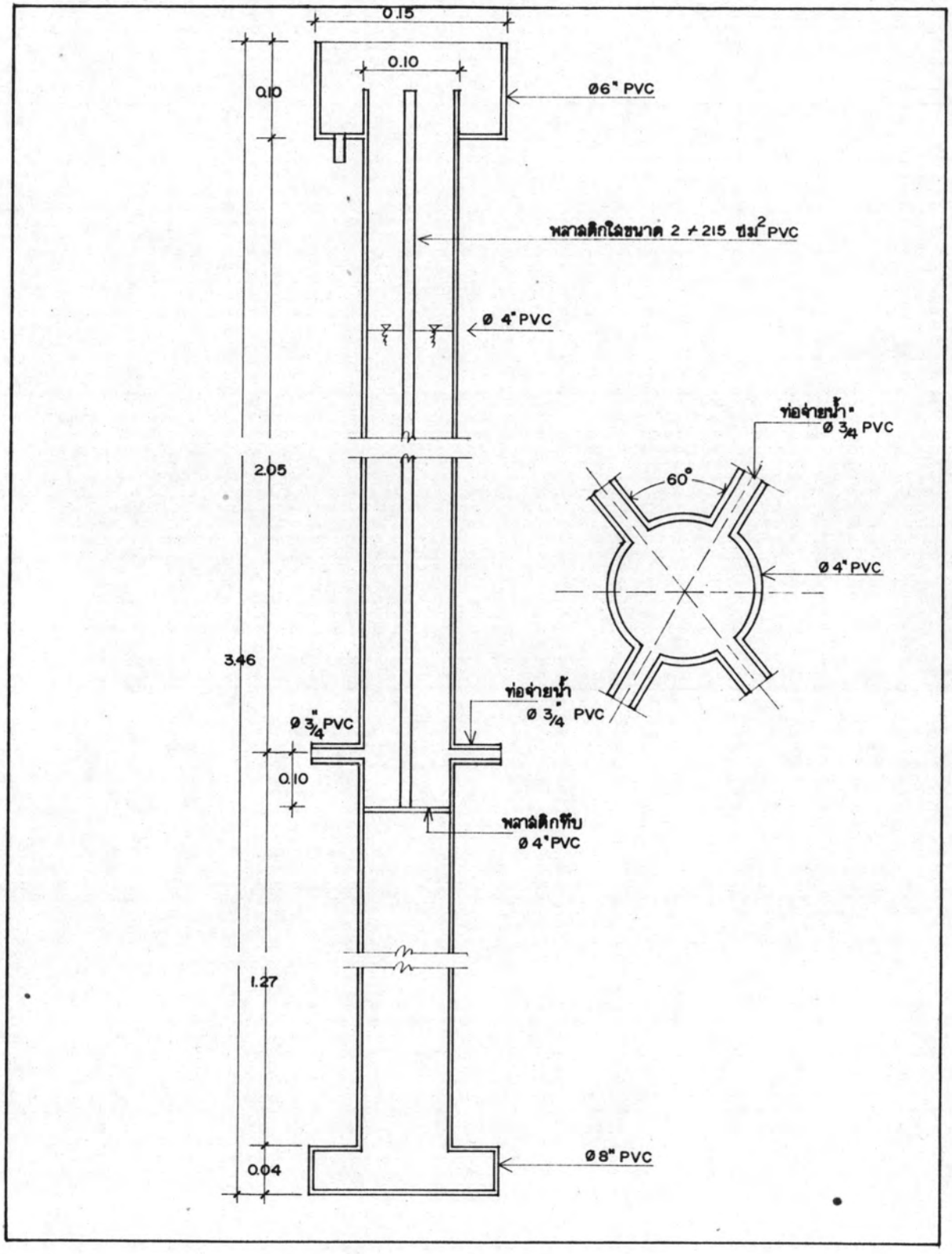
ตัวที่ 2 สำหรับวัดปริมาณการไหลของน้ำดิบจากถังพักน้ำที่มีเฮดคงที่ไปยังท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องกรอง โดยมีวาล์ว (valve) เป็นตัวควบคุมอัตราการไหล

ตัวที่ 3 สำหรับวัดปริมาณการไหลของน้ำสะอาดใสจากเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากถังพลาสติคที่บรรจุน้ำสะอาดใส ไปยังทางท่อน้ำออกของเครื่องกรอง เพื่อทำการล้างย้อนกลับ โดยมีวาล์ว (valve) เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหล โดยใช้ Flow Meter ของ Blue & White F-400 Flow Meter Size 1/2 นิ้ว ซึ่งสามารถวัดปริมาณการไหลของน้ำตั้งแต่ 0.5 – 5 แกลลอนต่อนาที หรือ 2 – 20 ลิตรต่อนาที

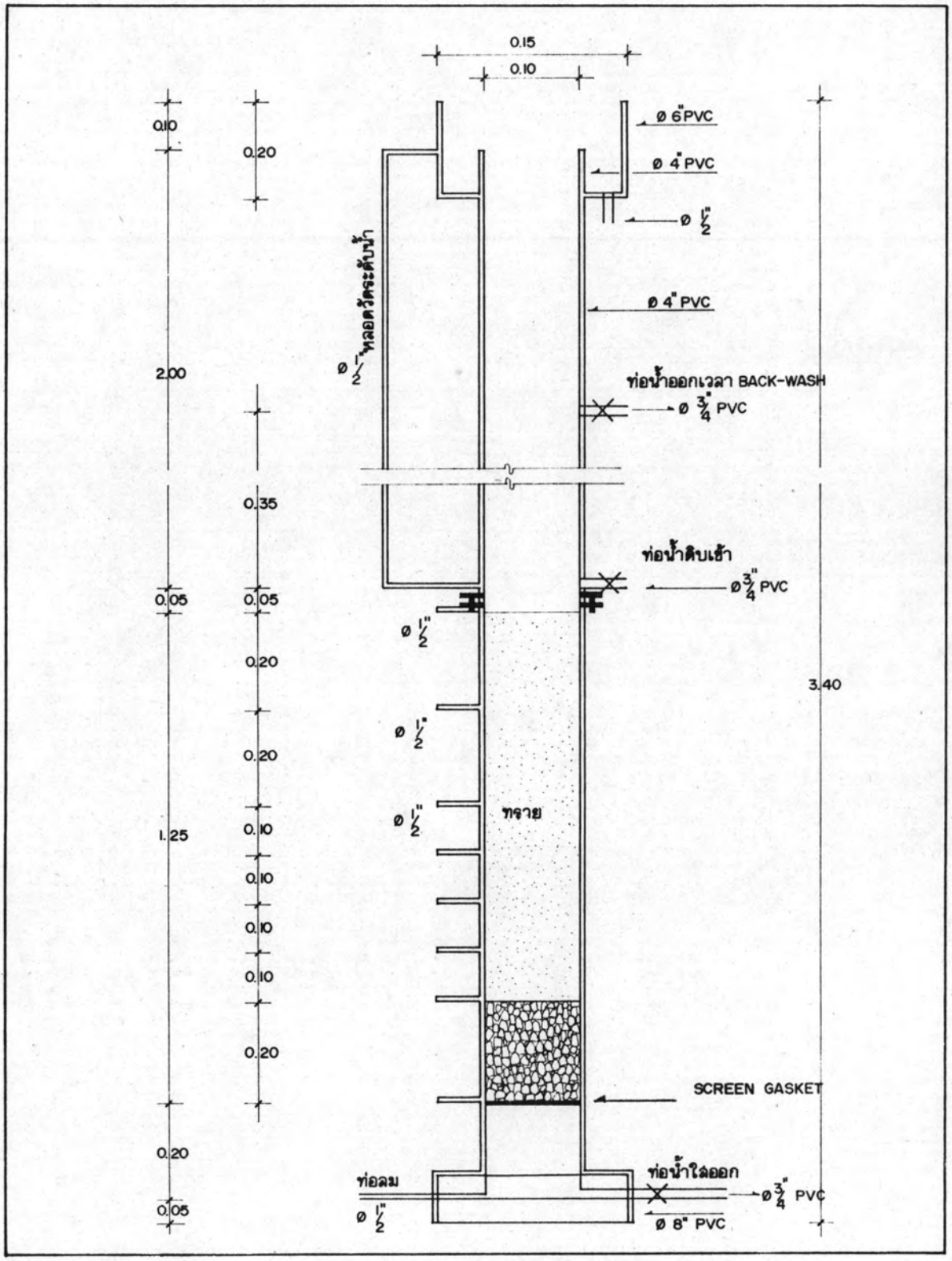
9) เครื่องกรองน้ำแบบระบบอัตรากรองลด (Decling-rate filter) ทำด้วยท่อ PVC ในการทดลองและวิจัยนี้ใช้เครื่องกรอง 4 ตัวต่อขนานกัน ซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนี้ (ภาพที่ 3.5)

ก. ขนาดของถังกรอง

หน้าตัดของถังกรองเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ϕ4"	0.10 ม.
พื้นที่หน้าตัดของถังกรอง	0.079 $ม^2$
ความยาวของถังกรอง	3.40 ม.



ภาพที่ 3.4 ท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องกรอง



ภาพที่ 3.5 ตัวเครื่องกรองน้ำ

ข. ชั้นกรองทราย

ความสูงของชั้นกรองทราย	0.80	ม.
ทรายผ่านตะแกรง เบอร์ 20	95	%
ทรายค้างบนตะแกรง เบอร์ 40	100	%
Effective size (D_{IO})	0.42	มม.
Uniformity Coefficient	1	
ค่าความพรุน Cporosity ของทราย	0.38	
ความถ่วงจำเพาะ	2.60	

ค. ชั้นกรวด

ความสูงชั้นกรวด	0.20	ม.
ขนาดของกรวดผ่านตะแกรง เบอร์ 4 (4.76 มม.)	95	%
ขนาดของกรวดค้างบนตะแกรง เบอร์ 8 (2.3 มม.)	100	%

โดยถังกรองมีจุดสำหรับวัดค่าของระดับน้ำสูญเสีย 1 จุด บริเวณด้านข้างของถัง โดยอยู่เหนือผิวชั้นทรายประมาณ 5 เซนติเมตร

10) <u>ถังพักน้ำใส</u> (clear water tank) ทำด้วยพลาสติคใส (ดูภาพที่ 3.3) มีรูขนาด ϕ $\frac{3}{4}$" สำหรับให้สายยางนำน้ำสะอาดจากทางน้ำออกของเครื่องกรองน้ำมาเก็บไว้ และมีรูขนาด ϕ $\frac{3}{4}$" สองรูสำหรับให้น้ำใสไหลออกไปยังที่เก็บน้ำ มีขนาดบรรจุน้ำ 12 ลิตร

11) <u>กาละมังสำหรับเก็บน้ำใสที่ไหลออกมาจากถังพักน้ำใส</u> จำนวน 8 อัน โดยมีปริมาตรบรรจุได้ 12 ลิตร จำนวน 4 อัน และมีปริมาตรบรรจุได้ 6 ลิตร จำนวน 4 อัน

12) <u>ขวดโหลแก้วสำหรับวัดปริมาตรน้ำ</u> จำนวน 5 ขวด โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.23 ม. สูง 0.35 ม. มีปริมาตรบรรจุได้ 14.5 ลิตร

13) เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) HACH Company. Model 2I00 A วัดความขุ่น 0.1 NTU – 1,000 NTU. NTU เท่ากับ JTU

14) เครื่องเติมอากาศ ใช้เครื่องวัดอากาศ (Air Compresser) ของ Fuji Compresser Mfg. Model SA - 02 ขนาด 1/4 แรงม้า 530 รอบต่อนาที และความจุของอากาศ 1.44 ลบ.ฟ.

15) ถังพลาสติคเก็บน้ำสะอาด (Clear water tank) เป็นถังเก็บน้ำประปาเพื่อใช้ในการล้างย้อนกลับของเครื่องกรอง โดยมีขีดบอกปริมาตรไว้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้างบน 0.72 ม. ข้างล่าง 0.56 ม. สูง 0.72 ม. มีปริมาตรบรรจุน้ำได้ 200 ลิตร

16) มอเตอร์พร้อมกับใบพัดเพื่อกวนน้ำในถังพลาสติคผสมสารเคมีของ Romond Company inc.Model 9069 1/30 แรงม้า หมุน 1550 รอบต่อนาที (ภาพที่ 3.2)

3.3 การเตรียมน้ำดิบ

1. เติมน้ำประปาลงไปในถังพลาสติคผสมคาโอลินจนระดับน้ำประปาสูง 0.56 ม. มีปริมาตร 60 ลิตร แล้วนำผ้าขาวบางมาคลุมปากถัง แล้วเอาเชือกพลาสติคมามัดผ้าไว้

2. ชั่งน้ำหนักสารคาโอลินชนิดเบามา 1,500 กรัม ค่อย ๆ ขยี้บนผ้าขาวบางทีละน้อยจนหมด แล้วแก้เชือกและผ้าขาวบางออก พร้อมใช้ใบพายกวนน้ำคาโอลินให้สารคาโอลินกระจายทั่วทั้งถัง

3. แล้วปล่อยน้ำคาโอลินทิ้งไว้ให้สารแขวนลอยคาโอลินตกตะกอนลงเป็นเวลา 1 ชม.

4. ดูดน้ำออกจากถัง (Siphon) ที่ความลึก 36 ซม. จะได้น้ำคาโอลินเข้มข้นซึ่งมีสารแขวนลอยคาโอลิน 10 m/l (ดูภาคผนวก) มาไว้ที่ถังพลาสติคเก็บน้ำคาโอลินเข้มข้นโดยน้ำคาโอลินเข้มข้นประมาณ 400 – 600 หน่วย NTU

5. นำน้ำคาโอลินเข้มข้นที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำประปาประมาณ 300 ลิตร ในถังเหล็กสแตนเลสให้มีความขุ่น 20,40 และ 60 NTU ตามต้องการ ซึ่งจะเป็นน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

6. เมื่อได้น้ำดิบที่มีความขุ่น 20,40 และ 60 NTU แล้ว ก็เติมผงสารส้มในถังพลาสติคผสมสารเคมี ขนาด 5 ม.ก./ลิตร, 10 ม.ก./ลิตร และ 15 ม.ก./ลิตร ตามลำดับ

3.4 <u>การเตรียมเครื่องกรองแบบอัตรากรองลด</u> (Decling Rate Filter) ก่อนการทดลอง เนื่องจากเครื่องกรอง 4 ตัว ที่ต่อกันอย่างขนาน มีความสะอาดเท่ากันคือ เครื่องกรอง 1, เครื่องกรอง 2, เครื่องกรอง 3 และเครื่องกรอง 4 ดังนั้นก่อนการทดลอง เราจะต้องทำให้เครื่องกรอง 4 ตัว มีความสะอาดไม่เท่ากันก่อน เพราะเวลามีการล้างย้อนกลับจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่จะเกิดทะยอยกันไปตามลำดับ

<u>วิธีทำ</u> ทำการสูบน้ำดิบสังเคราะห์ซึ่งมีความขุ่น 60 NTU (ความขุ่นเท่าไรก็ได้) โดยเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่งจากถังพลาสติคผสมสารเคมี มีปริมาตรความจุ 200 ลิตร ผ่านไปในท่อและผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำชนิดใช้ลูกลอยเป็นดรรชนี ไปยังถังพักน้ำที่มีเอดดงที่ขนาด 35 ลิตร จากถังพักน้ำนี้ น้ำจะไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำชนิดใช้ลูกลอยเป็นดรรชนี อัตราการไหลของน้ำดิบประมาณ 5.2 ลิตร/นาที (อัตราการไหลเท่าไรก็ได้) ไปยังท่อจ่ายน้ำ ซึ่งสามารถจ่ายน้ำให้กับเครื่องกรอง (Filters) ได้พร้อมกัน 4 เครื่อง ซึ่งต่อกันอย่างขนาน แต่เราจะปิดวาล์วไม่ให้น้ำดิบเข้าเครื่องกรอง 2 เครื่องกรอง 3 และเครื่องกรอง 4 ให้เข้าเครื่องกรอง 1 โดยเฉพาะเมื่อน้ำดิบเข้าเครื่องกรอง 1 แล้ว ชั้นทรายที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองจะค่อย ๆ สกปรกขึ้น จึงทำให้ระดับน้ำในหลอดวัดค่อย ๆ สูงขึ้น จนระดับน้ำในหลอดวัดสูงอ่านค่าสเกลความสูญเสียของน้ำที่ 150 ซม. แล้วก็ปิดวาล์วเครื่องกรอง 1 ในทำนองเดียวกันเราก็ไปเปิดวาล์วเครื่องกรอง 2 และเครื่องกรอง 3 ให้น้ำดิบจากท่อจ่ายเข้าเครื่องกรอง 2 และเครื่องกรอง 3 จนระดับน้ำในหลอดวัดสูงอ่านค่าสเกลความสูญเสียของน้ำที่130 ซม.และ 110 ซม. ตามลำดับ

ส่วนเครื่องกรอง 4 นั้น ให้เป็นเครื่องกรองที่สะอาดที่สุด หลังจากนั้นก็เปิดวาล์วเครื่องกรอง 1, เครื่องกรอง 2, เครื่องกรอง 3 และเครื่องกรอง 4 พร้อมกัน น้ำดิบจากท่อจ่ายจะจ่ายน้ำเข้าเครื่องกรองทั้ง 4 ตัวเท่ากัน แต่อัตราการกรองของเครื่องกรอง 1 เครื่องกรอง 2 เครื่องกรอง 3 และเครื่องกรอง 4 ไม่เท่ากัน เพราะความสกปรกของชั้นทรายที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองไม่เท่ากัน ดังนั้น เวลามีการล้างย้อนกลับจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่จะมีการล้างย้อนกลับที่เครื่องกรอง 1 เครื่องกรอง 2 เครื่องกรอง 3 และเครื่องกรอง 4 ตามลำดับ

3.5 <u>การทดลอง</u>

1. เตรียมน้ำดิบไว้พอเพียงสำหรับใช้ประมาณ 24 – 48 ชม. (ดูข้อ 3.3)

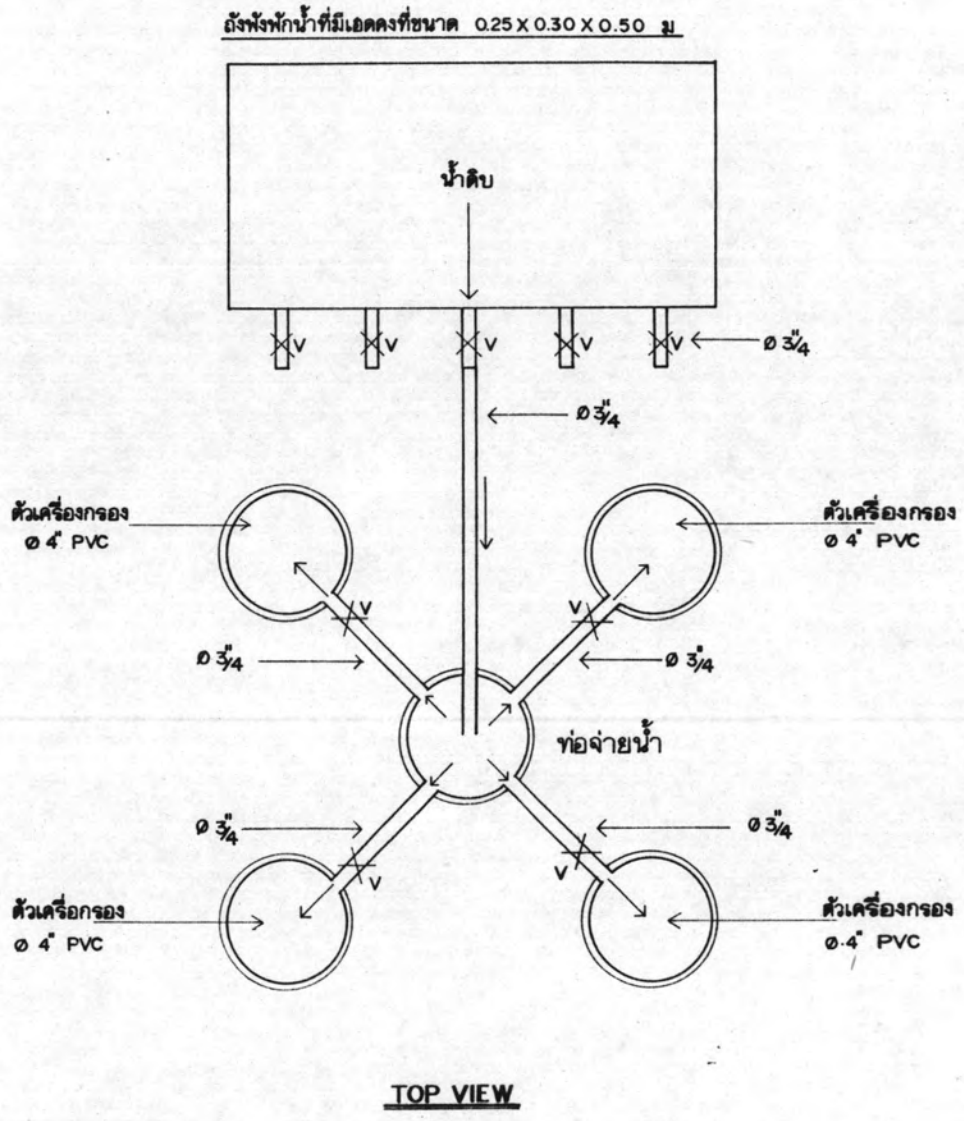
2. เตรียมเครื่องกรองให้มีความสกปรกต่าง ๆ กัน (ดูข้อ 3.4)

3. ทดลองกรองน้ำด้วยอัตราเฉลี่ย 2 หรือ 3 หรือ 4 แกลลอนต่อ ตร.ฟุต ต่อนาที ตามแต่ต้องการ อัตราเฉลี่ยนี้หมายถึงอัตราไหลของน้ำที่เข้าท่อจ่ายน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราไหลทั้งหมดของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง น้ำดิบจากท่อจ่ายน้ำจะส่งไปยังเครื่องกรองทั้ง 4 ตัว ในปริมาณที่เป็นสัดส่วนกับระดับการอุดตันของชั้นกรอง (ดูภาพที่ 3.6) ถังกรองที่สะอาดที่สุดจะกรองน้ำได้มากที่สุด ส่วนถังกรองที่สกปรกที่สุดจะกรองน้ำได้น้อยที่สุด ทั้งนี้ เพราะท่อจ่ายน้ำได้รับการออกแบบให้เป็นทางน้ำเข้าร่วมกันของถังกรองทั้ง 4 ตัว ซึ่งหมายความว่าน้ำในถังกรองทุกตัวจะมีระดับเท่ากัน (ดูภาพที่ 3.7)

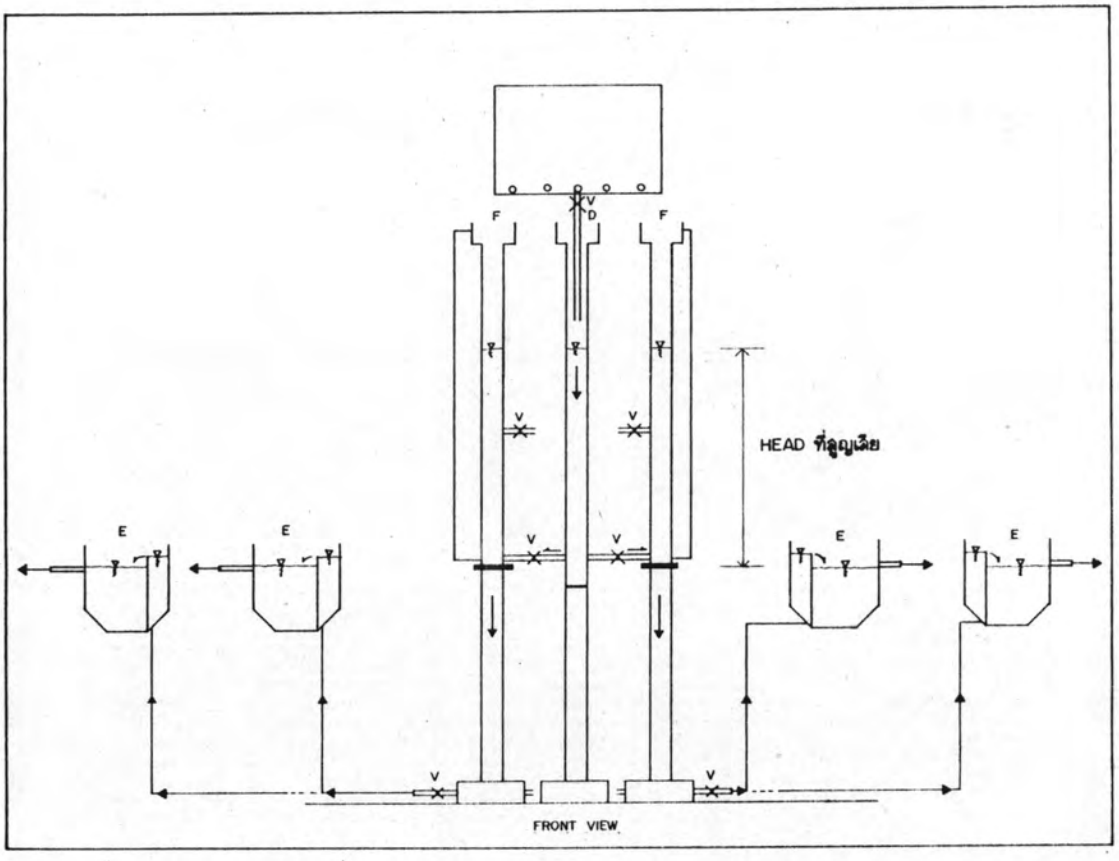
4. ในระหว่างการทดลอง ให้ชักตัวอย่างและทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

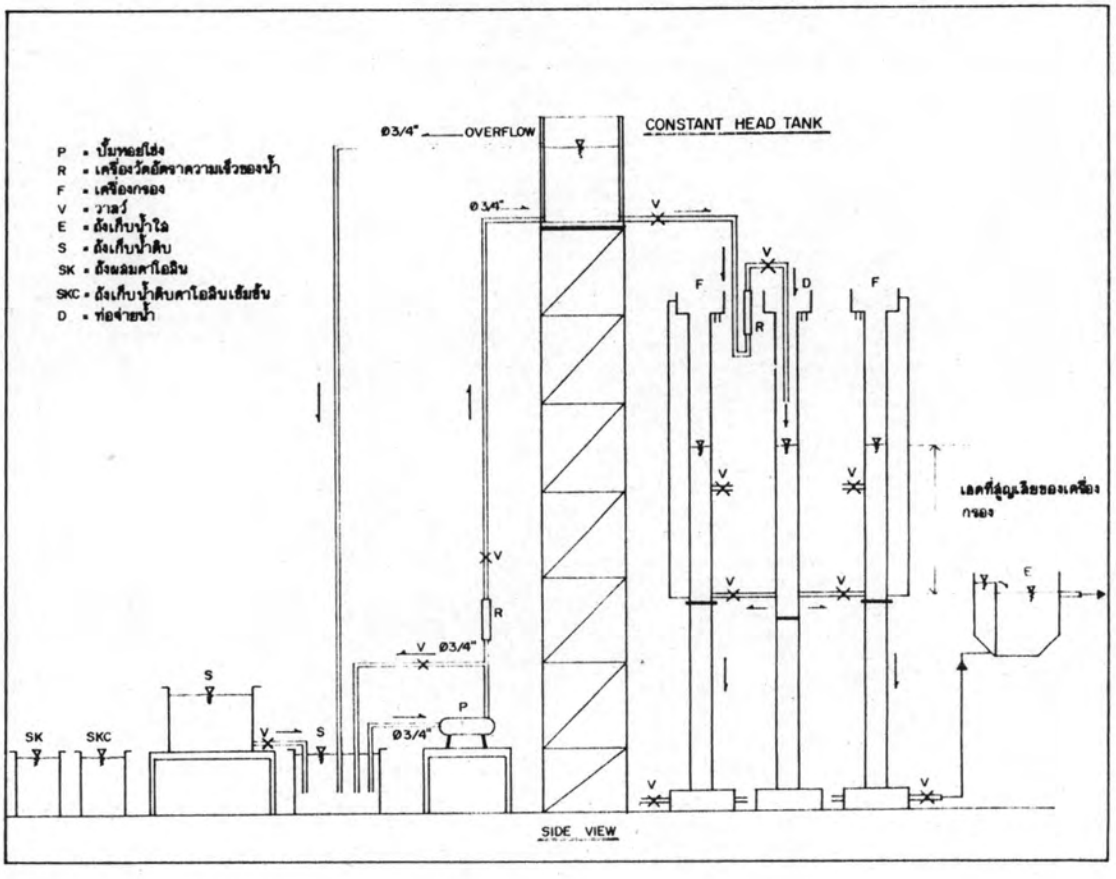
5. กรองน้ำจนกระทั่งมีการสูญเสียเฮดขึ้นถึงระดับประมาณ 1.50 เมตร ถังกรองที่ต้องล้าง คือตัวที่มีอัตรากรองน้อยที่สุด หรือให้น้ำกรองที่มีความขุ่นสูงกว่า 5 หน่วย NTU

3.6



ภาพที่ 3.6 TOP VIEW แสดงการวางเครื่องกรอง ท่อจ่ายน้ำ ถังพักน้ำ และทิศทางน้ำไหล





ภาพที่ 3.7 FRONT VIEW และ SIDE VIEWแสดงการวางเครื่องกรองและอุปกรณ์อื่น ๆ